

自転車ペダリング運動における加速期の筋活動とキネマティクス

EMG Activity and Kinematics of Human Cycling Movement at Acceleration Phase

岩永 大樹 (Hiroki Iwanaga) 指導：鈴木 秀次

【緒言】自転車ペダリング運動は、足関節の底屈・背屈、膝関節及び股関節の伸展・屈曲によって生じる力をクランクの回転運動へと変換させる行為である。自転車を漕ぐ環境は常に変化し、それに応じてペダリング運動には様々な局面が存在する。本研究ではペダリング運動の加速局面に着目した。これまでに、ペダリング運動時に回転速度が増大した時の特徴として2つの現象が報告されている。1つは筋活動の活動位相のタイミングの早まりであり、速度増大に伴って筋活動の開始がクランク角度のより前方にシフトするという現象である。2つ目は、速度増大に伴ってペダル踏力のピーク値出現のタイミングがクランク回転角に対し遅れるという現象である。これらの原因の1つには電気力学的遅延があると言われているが、加速局面中の動作も含めてキネマティクス・筋活動・ペダル踏力を総合的に調べた研究は少ない。よって本修士論文では加速動作の連続的な変化を観察し、クランク回転速度の増加に対して関節運動、筋活動及びペダル踏力がどのような応答を示すのか運動制御とバイオメカニクスの視座から検討することとした。

【方法】被験者は健康な男子大学生4名とした。エルゴメーターは摩擦負荷式を用い、負荷は10N (1.0kp) に設定した。被験者にはまず定常速度 (80rpm) でペダリングをさせ、その後任意のタイミングで全速力へと加速させた。自身の最大努力で1秒でも速く全力ペダリング速度に到達させるように指示を出し、加速を開始から10秒間全力ペダリング運動を継続させた。ペダリング運動中のキネマティクスは3次元動作解析システムを使用して測定した。筋活動は被験者の利き足の大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、半腱様筋、外側腓腹筋、ヒラメ筋、前脛骨筋の7筋から記録した。ペダル踏力は水晶圧電式センサーを取り付けたペダルを用いてペダルに対する垂直方向・前後方向の踏力を記録し、合成踏力と接線方向踏力を算出した。全ての計測データはシンクロナイザーの電気信号を入力することで同期を行った。

【結果】定常速度から最大速度到達までに至る間、加速2周期目に加速度が最大となり、平均13周期目で最大速度に到達した。このときの筋活動をみると、外側腓腹筋とヒラメ筋を除き活動開始の位相がクランク角度に対し早まった。

その中でも特に、大腿直筋は加速1周期目から2周期目にかけて急激に活動の位相が早まった。同じ大腿前面にある外側広筋の活動位相早まり方とは異なる傾向が見られた。大腿直筋の筋活動量は、加速1周期目に膝関節伸展相での活動量が増大した。2周期目から膝関節伸展相での活動量が次第に減少し、逆に股関節屈曲相での活動が多くなった。そして、13周期目では股関節屈曲相のみで活動が起こった。ペダル踏力の各周期での最大値はクランク角度90°から180°にかけて現れた (図1)。最初の1周期目で最大値を記録し、以後減少した。踏力の大きさと位相を詳細にみると、2周期目のピーク値の位相は1周期目よりも早まった (クランク角に対し90°付近)。その後3周期目からはペダル踏力のピーク値は減少するとともにクランク角度に対し次第に遅れ出し、13周期目で最大速度獲得 (加速度ゼロ) した時点では180度付近で落ち着いた。

【考察】筋活動の活動開始の早まりは、電気力学的遅延を考慮した変化であると推察されるが、大腿直筋の急激な早まりは筋が機能する関節の変化を反映したと考えられる。先行研究に見られなかったペダル踏力ピーク位相の早まりは、加速時に発生する抵抗のために起こったと考えられる。速度が増大すると加速抵抗が減少し慣性で回転する状態となる。結果として踏力が減少し、ピーク位相が遅れていったと考えられる。最高速度に近づくとより股関節屈曲の動きが優位となるような神経制御系に変化させてペダリングを行っていたと推察できた。

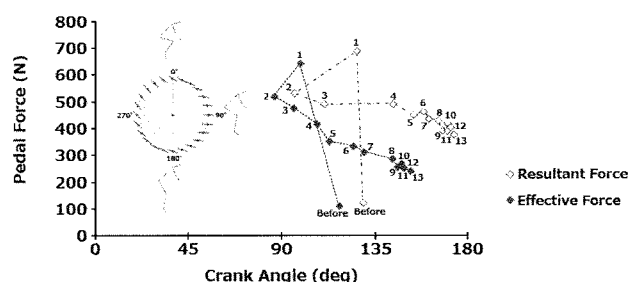


図1. ペダリング加速期の周期が進むにつれて変化する最大ペダル踏力の大きさと出現タイミング。各プロットはクランク角度(0-180°)に対する加速前 (Before) から最大速度獲得 (13周期目) までを示す。◇: 合成踏力; ◆: 接線方向踏力。